Recuerdos de una guerra nuclear

En agosto de 1945 se arrojaron dos bombas nucleares sobre Japón. El autor, partícipe en el proyecto Manhattan, reflexiona sobre el comienzo de la era atómica y lo que podría deparar el futuro tras el fin de la guerra fría

Philip Morrison

Rara vez se refiere un aniversario al comienzo mismo de un acontecimiento. Mis recuerdos del proyecto Manhattan y de la primera bomba nuclear clavan sus raíces mucho antes de agosto de 1945. La raíz principal llega hasta 1938, cuando preparaba mi doctorado en física en la Universidad de California en Berkeley, lo que no ahogaba mis inquietudes políticas y sociales. Cierta noche avanzada de aquella primavera, mis amigos y yo seguíamos despiertos sólo para oír la voz áspera del Führer, que hablaba a las masas apiñadas en Nuremberg bajo el sol de mediodía. Su tono era jactancioso, marciales sus ejércitos irrumpiendo en las fronteras de naciones vecinas. Su arenga, aunque dada al otro lado del océano y nueve horas al este, sonaba demasiado cerca. Estaba claro que no faltaba mucho para una guerra terrible contra el Tercer Reich y su Eje. Las concesiones hechas a Hitler en Munich ese otoño confirmaban nuestros miedos más hondos. La guerra mundial estaba al caer.

Por una coincidencia del destino, la física nuclear iba pronto a vincular los laboratorios universitarios al curso de la guerra y la paz. A principios de 1939 adquirió nivel de certeza la hipótesis según la cual una emisión de energía sin precedentes acompañaba la absorción de neutrones lentos por el elemento uranio. Puedo recordar el día de enero en que vi por primera vez, sobrecogido, las espigas verdes que mostraban en la pantalla del osciloscopio los enormes impulsos amplificados de electrones que liberaba uno de los dos veloces fragmentos de cada núcleo dividido de uranio.

El primer indicio de este fenómeno se había publicado hacía sólo unas semanas. Era indirecto, enigmático incluso. Los radioquímicos del laboratorio de Otto Hahn en el Instituto de Química Káiser Guillermo de Berlín —no había otro mejor— habían encontrado una intensa radiactividad residual en el bario, elemento que se formaba como producto de reacción cuando el uranio absorbía neutrones. Conviene señalar que el átomo de bario es sólo un poco más pesado que la mitad de un átomo de uranio, el elemento más pesado que se conocía por entonces. Nunca se había visto tamaña fragmentación tras una captura de neutrones. La identificación era convincente, pero las consecuencias, oscuras.

Casi al mismo tiempo, dos físicos huidos de la Alemania nazi, Otto R. Frisch y Lise Meitner (la célebre tía de Frisch), en ese momento refugiados en Suecia, comprendieron que el núcleo de uranio tenía que haberse partido en dos mitades aproximadamente iguales, liberando de paso más energía que cualquier reacción nuclear vista hasta entonces. Pronto se divulgó la noticia; fue el físico danés Niels Bohr quien la llevó a los Estados Unidos.

Más aún, parecía intrínseco al proceso de división, o de fisión, como se le llama, que con probabilidad liberase por lo menos dos neutrones en cada tanda. Dos neutrones saldrían de la primera fisión y, si las condiciones eran las adecuadas, inducirían dos sucesos de fisión más, que a su vez soltarían otros cuatro neutrones. Las fisiones que éstos causarían producirían ocho neutrones, y así sucesivamente. Se esperaba ahora una cadena de reacciones en progresión geométrica (idea que Leo Szilard, refugiado europeo recién llegado a Nueva York, había postulado en solitario durante años). La liberación a gran escala de energía nuclear, de la que tanto se había dudado, estaba por fin al alcance de la mano. Todos sabíamos que la energía que desprendería la fisión del uranio sería, kilogramo por kilogramo, un millón de veces mayor que la de cualquier combustible o explosivo químico.

El mundo en guerra

Que ello fuera importante para la guerra que ominosamente aparecía por el horizonte era inevitable. Tras oír las noticias de Europa, mis compañeros de curso y yo, un poco ingenuos en lo que se refería a la física de los neutrones, si bien con una visión que, burdamente, era correcta, elaboramos un borrador —quizá sería mejor decir que dibujamos un bosquejo— en las pizarras del despacho que compartíamos donde se mostraba un montaje, creíamos que eficaz, para una bomba. Pese a nuestras lagunas en el conocimiento del proceso, sabíamos que ese dispositivo, si pudiese construirse, sería terrible. No tengo documentación de aquellos dibujos informales, pero hay cartas muy expresivas de nuestro mentor, J. Robert Oppenheimer, cuyo despacho era contiguo al nuestro. El dos de febrero de 1939 le escribió a su viejo amigo de Ann Arbor, el físico George E. Uhlenbeck. Le resumía los hechos, pocos aunque asombrosos, y concluía: "Creo, pues, que no es muy improbable que un cubo de diez centímetros de lado de deuteruro de uranio... pudiera convertirse en un horno del infierno."

Con el tiempo, eso sería precisamente lo que ocurriría, pero el proceso resultaría más complicado de lo que nadie imaginara al principio. Estoy absolutamente seguro de que palos de ciego similares se dieron en esas primeras semanas de 1939 por todo el mundillo de la física nuclear,

PHILIP MORRISON nació en Somerville, Nueva Jersey, en 1915, y estuvo de finales de 1942 hasta mediados de 1946 trabajando en el proyecto Manhattan. Enseñó física en la Universidad de Cornell de 1946 a 1965. Se trasladó entonces al Instituto de Tecnología de Massachusetts. Es autor principal del celebérrimo *Potencias de diez*.

y sin duda alguna en Alemania, donde se descubrió la fisión. En el otoño de 1939, Bohr y John A. Wheeler, de Princeton, habían publicado el primer análisis completo de la física de la fisión. La valerosa Madrid había caído, y la gran guerra propiamente dicha se había declarado ya. Consta que hacia la primavera de 1940 se había encargado a varios grupos de expertos el estudio del tema en no menos de seis países: Alemania, Francia (nación que pronto se convertiría como tal en prisionera de guerra), Gran Bretaña, la Unión Soviética, los Estados Unidos y Japón. Es indiscutible que ni los gobernantes ni los jefes militares fueron quienes promovieron en un principio el potencial bélico del proceso de fisión, sino los físicos de todas esas naciones. En los Estados Unidos, por ejemplo, Albert Einstein firmó, justo cuando empezaba la guerra, la famosa carta dirigida al presidente Franklin D. Roosevelt en la que se le instaba a proseguir el desarrollo de armas nucleares.

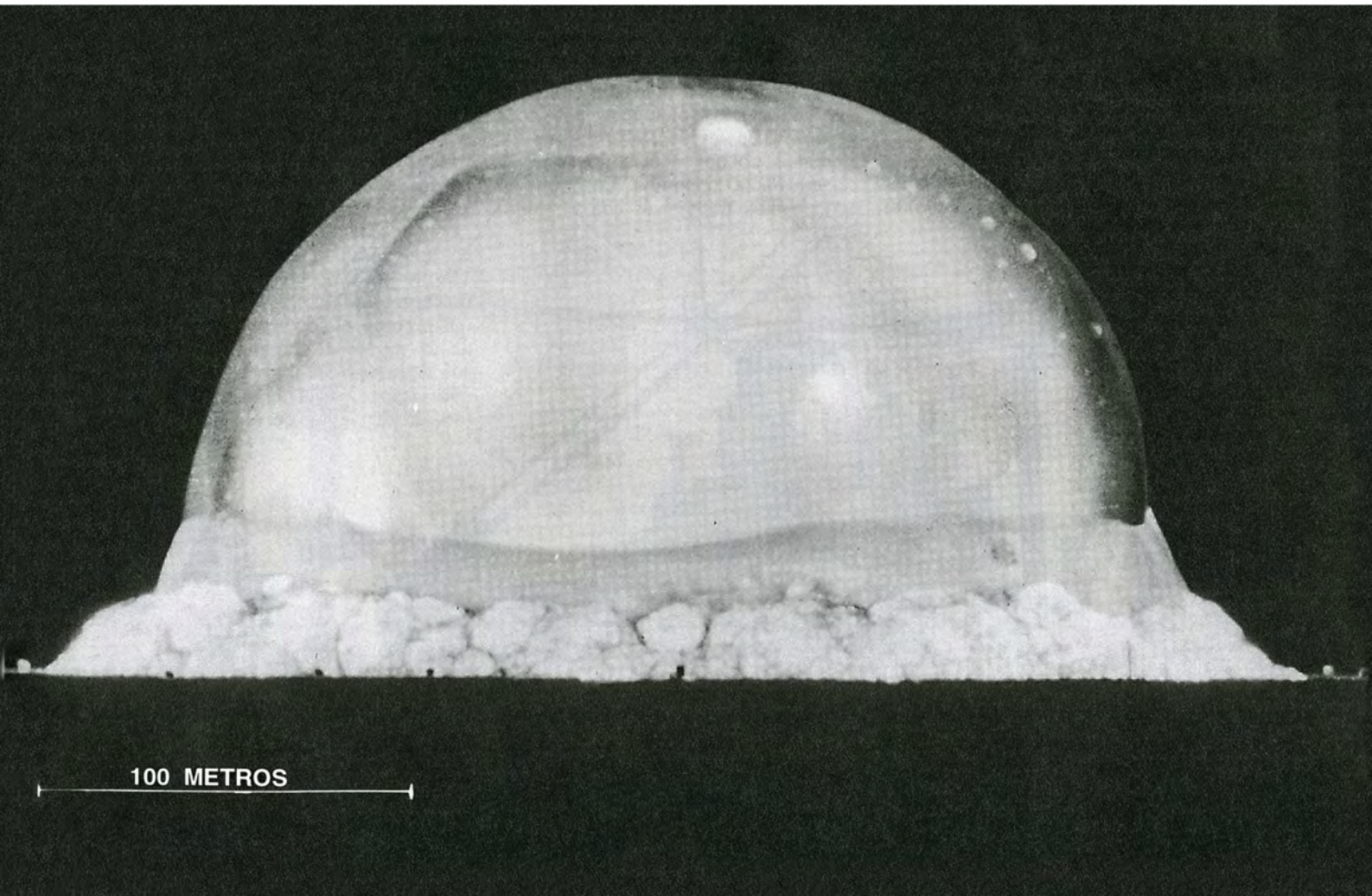
A finales de 1941, todos esas potencias, y también Italia, estaban inmersas en una guerra, como desde hacía mucho lo estaban China y Japón. A los físicos norteamericanos, claro está, les cogió de lleno la movilización general. Por entonces, yo era instructor de física de la Universidad de Illinois en Urbana-Champaign, adonde me trasladé para cubrir el hueco que habían dejado libre dos de mis amigos físicos de Berkeley, al enrolarse primero uno, luego el otro, que lo había reemplazado, en una misión bélica secreta. En 1942, casi todos los estudiantes varones marchaban cantando a sus clases en formación militar y estaban a disposición de las cajas de reclutamiento. El curso académico se extendió hasta cubrir los doce meses enteros; los miembros de los claustros enseñábamos a marchas forzadas y nos embarcábamos, además, en investigaciones de interés para la guerra, con generoso apoyo federal.

Otra voz del destino informa ahora mis recuerdos. Cada celebración del Día de Acción de Gracias, los físicos del Medio Oeste se reunían en Chicago. Acudí a las sesiones de 1942. Bob Christy, compañero mío en el grupo de Berkeley, se empeñó por teléfono en que le visitase sin falta en el laboratorio de la Universidad de Chicago donde estaba trabajando. Al entrar en el gótico edificio de físicas verificaron mi cita unos policías armados, insólitos en tal recinto. Encontré a Christy tranquilamente sentado en su despacho. "¿Sabes qué hacemos aquí?", me preguntó. Reconocí que era fácil adivinarlo: tenía que ser el proyecto secreto del uranio, al que tantos habían ido. "Sí", dijo con su cachaza acostumbrada, "hacemos bombas."

El plan, ambicioso, con un objetivo tan definitivo y temible, me dejó asombrado, sin palabras incluso. Christy y yo hablamos, y surgió una pregunta: ¿Cómo iba a perder nuestro bando la guerra, *a no ser que* los alemanes creasen antes armas nucleares? La tarea era, en efecto, vital; todos los físicos cuya área de competencia fuese pertinente —no eran muchos— tenían que participar. Me convencí; conté con el apoyo de mi esposa. Unas pocas semanas después aprendía en ese mismo laboratorio de Chicago a trabajar con Enrico Fermi, que ocupaba el despacho contiguo. Me alisté, por así decirlo, mientras durase la guerra, como tantos jóvenes lo habían hecho ya.

Durante el año 1943, amargo por el desarrollo de la guerra, me convertí en un eficaz ingeniero de neutrones que comprobaba una y otra

1. EL ESTALLIDO DE LA BOMBA en el ensayo de Trinity, 0,025 segundos tras la detonación en el desierto de Nuevo México. Cuando se tomó esta exposición, la explosión tenía más de trescientos metros de ancho.



vez prototipos detallados de los enormes reactores que habría que construir en Hanford, junto al río Columbia. Recuerdo también otras líneas de trabajo dentro del tenaz círculo de teóricos e ingenieros que se congregaba en torno a Eugene P. Wigner. Vi con claridad, casi como una revelación, que hasta la pequeña concentración de uranio que tenía el granito, tan abundante, proporcionaría el combustible de fisión suficiente para su propia extracción de las roças y dejaría todavía la renta de una ingente cantidad adicional de energía. En principio sólo —la práctica no confirma todavía este sueño— una fuente de energía que emplease como combustible las montañas duraría mucho más que todos los combustibles fósiles. Propuse también (no sólo yo) un plan detallado para husmear en qué trabajaban los alemanes, y así pasé a ser consejero técnico de la nueva organización de espionaje del general Leslie R. Grove en Europa; una actividad secundaria muy sugestiva para un físico joven y, en última instancia, inquietante.

La construcción de la bomba

Aquí, en los Estados Unidos, se construían a toda velocidad dos instalaciones industriales gigantescas cuya finalidad era obtener grandes cantidades de dos explosivos nucleares distintos: uranio y plutonio, elemento éste recién descubierto. Y todos sabíamos que en alguna parte —en el secreto "Sitio Y"— se estaba trabajando en la preparación de un mecanismo de bomba que detonase esos explosivos nucleares. Pero a mediados de 1944, mientras 40.000 trabajadores techaban los reactores de la ribera del Columbia que producirían el plutonio, el Sitio Y hubo de enfrentarse a una crisis técnica imprevista. El diseño de bomba elegido era simple, a modo de un cañón: se disparaba una bala subcrítica de uranio enriquecido contra un blanco subcrítico de uranio enriquecido, provocando la explosión. Pero las mediciones efectuadas con las primeras muestras evidenciaron que ese diseño no valía en el caso del plutonio, cuando era precisamente de plutonio el material para la bomba que se estaba intentando fabricar en Estados Unidos. En ese momento, no se vio otra alternativa que el diseño de implosión, un medio complejo e incierto de ensamblaje que se había examinado antes pero que se arrumbó por la extrema dificultad que encerraba: había que comprimir metal sólido de plutonio hasta una densidad transitoriamente alta mediante una implosión bien enfocada de explosivo químico de gran potencia.

A finales del verano de 1944, vivía y trabajaba en el Sitio Y, entre las bellas mesetas y los hondos cañones de Los Alamos, Nuevo México, junto con muchos otros científicos e ingenieros. Se nos había reunido urgentemente, procedentes del vastísimo proyecto Manhattan, para multiplicar y reforzar la plantilla original de Los Alamos, plagada de estrellas pero demasiado pequeña para afrontar la nueva ingeniería del diseño de implosión.

La información que teníamos de los laboratorios alemanes nos convenció, a finales de 1944, de que los alemanes no nos iban a ganar en la carrera hacia la bomba. En enero de 1945 estaba trabajando con el grupo de Frisch, que había adquirido habilidad en el ensamblaje de masas subcríticas de material nuclear, a las que había que juntar para obtener la masa supercrítica necesaria para la liberación de energía. En realidad, nos arriesgamos temerariamente a "tirar de la cola del dragón" y formar una masa supercrítica de uranio. Hicimos una pequeña bomba de ese material muy rebajada, diluida, y dejamos que fuese apenas supercrítica por unos milisegundos. Se produjo una erupción feroz de neutrones, la primera prueba directa de una reacción en cadena explosiva.

Por primavera, el laboratorio tenía listo el diseño de una bomba de implosión de plutonio; lo había preparado Christy, y estaba ya programada su prueba a escala real. Dos miembros del grupo de Frisch (Marshall G. Holloway y yo) fuimos nombrados ingenieros G; la G era la abreviatura de "gadget" —chisme—, apelativo cifrado de la bomba de implosión. Eramos los responsables de los dos primeros núcleos de metal de plutonio que se producirían. Teníamos que especificar hasta los menores detalles del proyecto; en cuanto llegó el suficiente compuesto de plutonio, se nos encargó que creásemos con los recursos de Los Alamos los núcleos, preparásemos su manejo y, en julio, estuviésemos listos para montar el primer núcleo de prueba con los otros sistemas de esa arma compleja. Pero en junio la batalla de Alemania había terminado; en cambio, la guerra con Japón era más terrible que nunca. Seguimos con la aún incierta bomba; era nuestro leal deber hacia nuestro país y los líderes en los que confiábamos, ¿quizá demasiado?

De acuerdo con lo previsto, el ensayo de Trinity, la primera prueba de una bomba nuclear, se realizó el 16 de julio de 1945. Dejó en mí recuerdos indelebles. Ninguno tan intenso como el fogonazo de calor que azotó mi cara. Luminoso como un sol de mediodía para un observador que estaba a más de quince kilómetros de distancia, en el frío desierto,

2. PREPARANDO LA TORRE de la bomba dos días antes del ensayo de Trinity, un grupo del Laboratorio de Los Alamos levanta hasta la plataforma la bomba montada.

3. REUNION DE CIENTIFICOS atómicos en una base de las islas Marianas, donde se montaron las bombas atómicas que se arrojaron sobre Japón en agosto de 1945. El autor, sentado, es el tercero por la derecha.

PHILIP MORRISON en el Laboratorio de Los Alamos en 1945.

poco antes del amanecer; nuestro sol artificial se elevó sobre la tierra para luego desvanecerse. Para la mayoría de los 2000 técnicos de Los Alamos —civiles, militares y estudiantes soldados—, esa prueba coronaba el trabajo de todos. El terrorífico despliegue que seguiría antes de un mes se tornó en el anticlímax de esa sensación, fuera de nuestro control, muy distante. La advertencia explícita que yo había esperado no se produjo; la transformación nuclear del arte de la guerra se mantuvo en secreto hasta que la lluvia de fuego que arrasó Hiroshima la reveló.

La guerra nuclear en embrión

Las tres bombas de 1945 —la de prueba y las dos que se arrojaron en Japón— fueron, más que armas seguras y fiables, piezas casi improvisadas de un equipo complejo de laboratorio. Muy poco después del ensayo de julio, alrededor de un sesenta por ciento de nosotros volamos de Los Alamos al Pacífico norte para ayudar a montar las bombas y sumar nuestra capacidad insustituible a la desplegada por miles y miles de hombres de la aviación en Tinian, donde un sinfín de cargamentos de gasolina y de bombas incendiarias entraba en el puerto.

La bomba de Hiroshima, la primera que estuvo lista, se lanzó el 6 de agosto de 1945. "Little Boy" (Chiquillo) era de uranio. Convirtió la ciudad en una ruina herrumbrosa. Ni siquiera se había ensayado antes por su diseño elemental, de tipo cañón, mucho más costoso sin embargo en combustible nuclear. Vino a continuación la segunda versión de la recién ensayada bomba de implosión de plutonio, "Fat Man" (Gordo), que sembró el desastre en Nagasaki. La guerra acabó enseguida.

Con la impresión de que completaba así el haber sido testigo, durante tanto tiempo, de toda la tragedia, acepté formar parte de la avanzadilla que partió desde nuestra base en el Pacífico para entrar en Japón el primer día de la ocupación norteamericana. Junto con otros dos jóvenes, viajé por tren un par de semanas a través del país, abarrotadas las vías por las tropas desmovilizadas. Los japoneses estaban desastrosamente empobrecidos y hambrientos, pero mantenían el orden. A lo largo del camino vimos ciudades grandes y pequeñas arrasadas por cien incendios salvajes, prendidos por raids de hasta mil bombarderos B-29, devastación que era la marca misma de la vieja guerra. El daño sufrido por estas ciudades recordaba la destrucción que dejaron en Hiroshima una sola explosión nuclear y el fuego que la siguió.

Habíamos traído al mundo un nuevo tipo de guerra, la guerra nuclear en embrión, con sólo dos bombas. Un solo bombardero podía ahora aniquilar una ciudad de un tamaño apreciable y matar a centenares de miles. Pero en tierra, allí entre todos los que sufrían y murieron cruelmente, no eran tan diferentes el viejo fuego y el nuevo. Uno y otro habían desatado un infierno inimaginable. Era verdad que habíamos visto cientos de personas en el andén de Hiroshima, la mayoría de las cuales morirían de las quemaduras o de la nueva epidemia, la enfermedad de la radiación, que habíamos inoculado. Pero muchas otras ciudades, entre ellas Tokyo, donde en el primer raid incendiario habían muerto cien mil personas o más, contaban también con legiones de supervivientes quemados y lacerados. La radiación no es un asunto menor, pero la diferencia entre los raids masivos que sufrieron las ciudades japonesas y esos dos ataques nucleares estribaba menos en la escala de la tragedia humana que en el hecho escalofriante de que aho-

ra era mucho más fácil destruir las populosas ciudades de la humanidad. Dos bombas nucleares habían quizá duplicado la cuenta de muertos en Japón debida al poder aéreo.

La fisión y luego la fusión ofrecían desolación al por mayor a un precio barato. No sería la segunda guerra mundial la verdaderamente transformada por el núcleo del átomo, sino la gran guerra que la siguiese. Los últimos cincuenta años han estado regidos por una sola verdad nuclear. En 1945, los Estados Unidos desplegaron unos mil bombarderos de gran alcance B-29. En los años sesenta poseían 2000 bombarderos a reacción, y en los ochenta quizá 1500 misiles. Durante más de cuatro décadas han mantenido una fuerza de ataque similar a la que comandó el general Curtis E. LeMay en 1945, cada año más veloz, más fiable, mejor en cada aspecto. Pero ahora no es química *cada carga explosiva*, sino nuclear, portadora de una muerte y una destrucción decenas, hasta cientos de veces mayores. Los gobernantes de ambos lados decidieron armarse hasta los dientes, y hasta enarbolar la amenaza de la guerra, con este tipo de arsenal, una guerra que sería varios órdenes de magnitud más violenta que todas las precedentes. Pero los gobernantes no llevaron adelante sus amenazas; hoy se considera el conflicto nuclear a gran escala por lo que realmente es, absolutamente intolerable.

Volví del Japón a finales de septiembre de 1945. Me enteré de que uno de mis compañeros de Berkeley había perecido; le había matado en el laboratorio una erupción incontrolada de radiación. (No sería el último.) Lo temerarios que habíamos sido con el dragón nuclear dejó también su huella en Nuevo México. América estaba en paz, pero era un clamor, y el centro del interés, con todo su terror, la nueva bomba atómica. A finales de ese año muchos científicos, yo entre ellos, se pronunciaron con contundente y pública claridad, con dramatismo incluso, sobre los peligros de la guerra nuclear.

Este fue nuestro mensaje: el secreto no nos defenderá, pues átomos y saberes los hay en todas partes. No es probable que haya defensa alguna que contrarreste la enorme energía que se desprende; nunca será factible en la práctica interceptar cada una de las bombas, y basta un puñado para causar gravísimos desastres. El refugio pasivo sirve de poco, pues cuanto más profundo sea el refugio carísimo, mayor será la bomba barata. No habrá tampoco margen probable de superioridad técnica que nos salvaguarde, pues hasta la menor fuerza nuclear puede ocasionar daños intolerables.

La herencia de la bomba

Creo que estas opiniones no han perdido un ápice de validez en los últimos cincuenta años. Sólo queda una salida: acuerdos mundiales que pongan fin a la guerra nuclear, redactados con exigencia hasta en el menor detalle. Es sorprendente que los jefes de laboratorio del proyecto Manhattan dijesen casi lo mismo muy pronto, ya el 17 de agosto de 1945, tres días después de que se firmase la rendición del Japón. Pero eran cartas reservadas al secretario de la guerra de los Estados Unidos, y estas primeras opiniones permanecieron ocultas durante mucho tiempo.

Los años noventa nos han dado una oportunidad histórica inesperada, como inesperada fue la propia fisión. Los Estados Unidos y la que fuera Unión Soviética aciertan ahora al desmantelar unas ocho o diez cabezas nucleares al día, pero han de recorrer aún un largo camino. Nunca habíamos tenido un presagio de paz tan prometedor, tan palpable, pero continúa siendo de momento eso, mera promesa. Necesitamos actos resueltos y generalizados. La tarea no es sencilla. Pero, ¿existe objetivo internacional más importante que poner el futuro a salvo de la guerra nuclear? ¿Cómo es posible que hayamos planificado alguna vez la guerra con decenas de miles cabezas nucleares? ¿No sabíamos que también Occidente quedaría arrasado? Con las armas nucleares, la guerra llega a la simetría final, estéril, de la destrucción mutua.

En 1963, Oppenheimer recordó que la primera vez que Bohr fue a Los Alamos durante la guerra, le preguntó a su amigo y anfitrión, en tono muy grave: "¿Es lo bastante grande?" Oppenheimer sabía qué quería decir: Esta nueva escala de la guerra, ¿es lo bastante grande para poner en entredicho la institución misma de la guerra? "No sé si entonces lo era", escribió Oppenheimer, "pero al final ha llegado a serlo." Y luego se volvió demasiado grande, pavorosamente grande; no obstante, llegó el momento en que, al menos, dejó de crecer con exuberancia. Podremos, si no cejamos, acabar con su amenaza sin igual.

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTARIA

THE LETTERS OF J. ROBERT OPPENHEIMER. Charles Weiner y Alice Kimball Smith. Harvard University Press, 1981.

A HISTORY OF STRATEGIC BOMBING. Lee B. Kennett. Charles Scribners' Sons, 1982.

THE MAKING OF THE ATOMIC BOMB. Richard Rhodes. Simon & Schuster, 1986.

4. HIROSHIMA fue arrasada el 6 de agosto de 1945 por la primera bomba nuclear arrojada en la guerra.

INVESTIGACION y CIENCIA

Octubre de 1995 Número 229

4

Recuerdos de una guerra nuclear
Philip Morrison

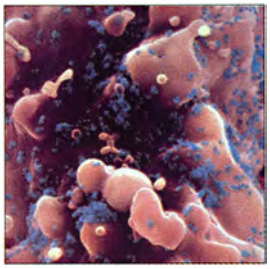
En el cincuentenario del bombardeo de Hiroshima y Nagasaki, este célebre físico y escritor reflexiona sobre la era nuclear. Miembro del proyecto Manhattan, vio cómo la fisión pasó de ser una eficaz amenaza dibujada en una pizarra a convertirse en el fundamento de las armas más terribles jamás conocidas. Morrison fue testigo ocular de la devastación sufrida.

10

Tornados
Robert Davies-Jones

Los embudos que producen ingentes catástrofes constituyen solamente la porción inferior de un fenómeno ciclónico complejo. Sirviéndose de un arsenal de instrumentos transportados por tierra y aire, los meteorólogos han comenzado a identificar las condiciones atmosféricas que crean tales vórtices de vientos, capaces de cambiar súbitamente su dirección.

20



Así destruye el sida las defensas inmunitarias
Martin A. Nowak y Andrew J. McMichael

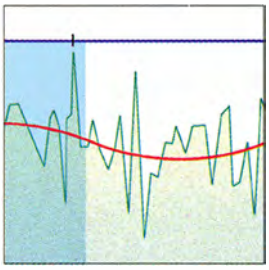
Las personas infectadas con el virus del sida no suelen presentar síntomas de la patología hasta pasados unos diez años. Esa latencia podría resultar del enfrentamiento entre el virus y las defensas. Durante mucho tiempo, las fuerzas antagónicas se hallan en equilibrio, pero llega un momento en que la aparición de una aplastante variedad de mutantes arruina toda respuesta.

42

Los yacimientos de Atapuerca
Emiliano Aguirre

Los depósitos del sistema kárstico de la sierra burgalesa de Atapuerca contienen una información singular sobre evolución del clima, la vegetación, los recursos animales y la industria humana en el Pleistoceno Medio por la diversidad de tipos de vestigios y procesos, por la amplitud del período comprendido, la fina calibración cronológica y los escasos vacíos de registro.

52



Las virtudes del ruido de fondo
Frank Moss y Kurt Wiesenfeld

Todo el que haya intentado escuchar la radio a través del crepitar de los estáticos sabe lo que molesta el ruido de fondo. Pero no siempre es así; a veces la "resonancia estocástica" hace que las fluctuaciones del nivel de ruido amplifiquen las señales débiles; este efecto desempeña un papel central en el sistema nervioso y posibilita sensores más finos.

COLABORADORES DE ESTE NUMERO

Asesoramiento y traducción:

J. P. Campos: *Recuerdos de una guerra nuclear*; M. Puigcerver: *Tornados*; E. Santiago: *Así destruye el sida las defensas inmunitarias*; Ana M.ª Rubio: *Fisiología de la enfermedad por descompresión*; Joandomènec Ros: *Comunicación en las ranas*; Mónica Murphy: *El encuentro del cometa Shoemaker-Levy 9 con Júpiter*; A. Garcimartín: *Perfiles*; J. Vilardell: *Hace* y *Taller y laboratorio*; Luis Bou: *Juegos matemáticos*; J. M.ª García de la Mora: *Ensayo*

Ciencia y sociedad:

Juan Pedro Campos y Joandomènec Ros

PROCEDENCIA DE LAS ILUSTRACIONES

Portada: Gregory Manchess

Página	Fuente
6	Laboratorio Nac. de Los Alamos
7	UPI/Bettmann; Lab. Nacional de Los Alamos (*inserto*)
8	Laboratorio Nac. de Los Alamos
10-11	Howard B. Bluestein
12-13	Tomo Narashima;
14-15	Matthew Arrott; R. Wilhelmson (*arriba*); David Sams (*abajo*)
16	Jerry M. Straka, Joshua Wurman y Erik Rasmussen
17	Jim Argo, *SABA*
18	Christopher R. Church
21	Lennart Nilsson, Boehringer Ingelheim International
22-27	Dimitry Schidlovsky
28	Lennart Nilsson, BII
43	Mariano Bautista, Museo Nac. de Ciencias Naturales (*foto*); Servicio Geográfico del Ejército, Grupo Espeleológico "Edelweiss" de Burgos (*plano*)
44	E. Aguirre
45	Juan Carlos Díez y Silvia Nuere
46	E. Aguirre y Silvia Nuere
47	M. Bautista
48	Javier Trueba
49	E. Aguirre y Silvia Nuere
50	Museo Nac. de Ciencias Naturales
52-53	Joe Schwartz (*arriba*); Laurie Grace (*centro* y *abajo*)
54	William Roston (*fotografía*); Laurie Grace (*gráfico* y *dibujo*)
57	David Doubilet
58	Rodica Prato
59	Universidad de Duke
60	Dan Burton
61	Karl Gude
62	Robert Devoe
63	Jared Schneidmann/JSD
66-67	Roberto Osti
68	Johnny Johnson y Roberto Osti
69	Laurie Grace
70	Roberto Osti (*arriba*); Johnny Johnson (*abajo*)
71	Peter M. Narins
72-73	James V. Scotti (*izquierda*); Heidi B. Hammel y NASA (*derecha*)
74-75	(*de izquierda a derecha*) Paul W. Chodas; cortesía de Eugene Shoemaker; Keith Schreiber; Terence Dickinson; NASA; Alan Levenson; Tomo Narashima
76-77	(*de izda. a dcha.*) J. S./JSD; Eugene y Carolyn Shoemaker y David Levy; NASA; Peter J. McGregor y Mark Allen, Univ. Nac. Australiana; Heidi B. Hammel y NASA; Space Telescope Science Institute y NASA; Harold A. Weaver y T. Ed Smith; J. S./JSD, fuente: Paul W. Chodas (*abajo*)
78-79	(*de izda. a dcha.*) Laboratorio de Propulsión a Chorro; J. S./JSD; Telescopio espacial Hubble y NASA; E. Shoemaker, Paul J. Hassig y David J. Roddy

Una aterrorizada submarinista asciende a toda prisa a la superficie. Tal vez sea por un pequeño problema en el equipo o por haber avistado cualquier animal de aspecto amenazador (casi siempre inofensivo). Y ahí está el peligro real: al contener la respiración la submarinista, la presión puede desgarrar los pulmones y dejar salir gas al torrente sanguíneo. La embolia originará entonces una lesión neurológica (*véase* "Fisiología de la enfermedad por descompresión", por R. E. Moon, R. D. Vann y P. B. Bennett, en este mismo número).

INVESTIGACION Y CIENCIA

DIRECTOR GENERAL Francisco Gracia Guillén
EDICIONES José María Valderas, *director*
ADMINISTRACIÓN Pilar Bronchal, *directora*
PRODUCCIÓN M.ª Cruz Iglesias Capón
Bernat Peso Infante
Carmen Lebrón Pérez
SECRETARÍA Purificación Mayoral Martínez
EDITA Prensa Científica, S. A. Muntaner, 339 pral. 1.ª – 08021 Barcelona (ESPAÑA)
Teléfono (93) 414 33 44 Telefax (93) 414 54 13

SCIENTIFIC AMERICAN

EDITOR IN CHIEF John Rennie
BOARD OF EDITORS Michelle Press, *Managing Editor*; Marguerite Holloway, *News Editor*; Ricki L. Rusting, *Associate Editor*; Timothy M. Beardsley; W. Wayt Gibbs; John Horgan, *Senior Writer*; Kristin Leutwyler; Madhusree Mukerjee; Sasha Nemecek; Corey S. Powell; David A. Schneider; Gary Stix; Paul Wallich; Philip M. Yam; Glenn Zorpette
PRODUCTION Richard Sasso
CHAIRMAN AND CHIEF EXECUTIVE OFFICER John J. Hanley
CO-CHAIRMAN Dr. Pierre Gerckens
DIRECTOR, ELECTRONIC PUBLISHING Martin Paul

SUSCRIPCIONES

Prensa Científica S. A.
Muntaner, 339 pral. 1.ª
08021 Barcelona (España)
Teléfono (93) 414 33 44
Fax (93) 414 54 13

Precios de suscripción, en pesetas:

	Un año	Dos años
España	8.800	16.000
Extranjero	9.700	17.800

Ejemplares sueltos:

Ordinario: 800 pesetas
Extraordinario: 1.000 pesetas

—Todos los precios indicados incluyen el IVA, cuando es aplicable.

— En Canarias, Ceuta y Melilla los precios incluyen el transporte aéreo.

— El precio de los ejemplares atrasados es el mismo que el de los actuales.

DISTRIBUCION

para España:

MIDESA

Carretera de Irún, km. 13,350
(Variante de Fuencarral)
28049 Madrid Tel. (91) 662 10 00

para los restantes países:

Prensa Científica, S. A.
Muntaner, 339 pral. 1.ª – 08021 Barcelona
Teléfono (93) 414 33 44

PUBLICIDAD

GM Publicidad
Francisca Martínez Soriano
Menorca, 8, bajo, centro, izquierda.
28009 Madrid
Tel. (91) 409 70 45 – Fax (91) 409 70 46

Cataluña y Baleares:
Miguel Munill
Muntaner, 339 pral. 1.ª
08021 Barcelona
Tel. (93) 321 21 14
Fax (93) 414 54 13

Difusión controlada

Copyright © 1995 Scientific American Inc., 415 Madison Av., New York N. Y. 10017.

Copyright © 1995 Prensa Científica S. A. Muntaner, 339 pral. 1.ª 08021 Barcelona (España)

Reservados todos los derechos. Prohibida la reproducción en todo o en parte por ningún medio mecánico, fotográfico o electrónico, así como cualquier clase de copia, reproducción, registro o transmisión para uso público o privado, sin la previa autorización escrita del editor de la revista. El nombre y la marca comercial SCIENTIFIC AMERICAN, así como el logotipo correspondiente, son propiedad exclusiva de Scientific American, Inc., con cuya licencia se utilizan aquí.

ISSN 0210136X Dep. legal: B. 38.999 - 76

Filmación: Tecfa. Línea Fotocomposición, S.A., Avila, 112-114 4ª pl. - 08018 Barcelona
Fotocromos reproducidos por Scan V2, S.A., Avda. Carrilet, 237 - 08907 l'Hospitalet (Barcelona)
Imprime Rotocayfo, S.A., Ctra. de Caldes, km 3 - Santa Perpètua de Mogoda (Barcelona)

Printed in Spain - Impreso en España